Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, 2025, p. 327-340

Investigating the Geostatistical Characteristics of the Aphid Population of *Acyrthosiphon pisum* Haris in Alfalfa Fields in Dezful and Borujerd Regions

I. Sabouri[1*], A. Rasekh[2], A. Mohseni Amin[3]

1 and 2- Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, respectively.
3- Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: imansabouri900@gmail.com)

Received: 10-03-2024 Revised: 25-10-2024 Accepted: 02-11-2024 Available Online: 03-03-2025	**How to cite this article:** Sabouri, I., Rasekh, A., & Mohseni Amin, A. (2025). Investigating the geostatistical characteristics of the aphid population of *Acyrthosiphon pisum* in alfalfa fields in Dezful and Borujerd regions. *Iranian Plant Protection Research, 38*(4), 327-340. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87278.1180

Introduction

Acyrthosiphon pisum Harris is one of the most important aphid species in alfalfa fields. In the case of a large population, it directly and indirectly damages the host plants. Reports have shown their presence in several regions worldwide, including Iran, particularly on fodder plants and most plants belonging to the legume family. Geostatistical analysis provides an alternative approach for characterization of spatially variable ecological data, particularly for insect population. Geostatistics includes two parts, variography and kriging. The foundation of geostatistics is semi-variogram, which is a variance diagram based on the distance between samples, which shows the structure of spatial relationship among the samples. Kriging is one of the geostatistical methods that are used to estimate the regional variable value in different areas of the farm. Regarding geostatistical estimation, the value of a quantity in areas with known coordinates is estimated by using the same quantity in other points with known coordinates. This method allows for precise estimation of the value of a local variable in areas where sampling has not been conducted. These maps can accurately predict population changes and the likelihood of reaching the economic threshold in various parts of the farm. As a result, they can be highly effective in pest management programs.

Materials and Methods

This research was carried out in the crop year of 2021-2022 in two three-year alfalfa fields located in two cities of Dezful (Khuzestan) of Baghdadi variety and Borujard (Lorestan) of Hamadani variety, with an area of five and seven hectares, respectively. To record the population density of desired pest in different parts of the selected farms, the number and location of each sampling station were determined based on their length and

https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87278.1180

width coordinates (in meters) were considered constant during the sampling period. To determine the location of sampling stations, first, four main directions were identified in the fields and from the southwest area of the fields, and to eliminate the marginal effects of the fields, a point with coordinates (0,0) was selected two or three meters from the edge of fields. The desired fields were divided into regular grids of 25 x 25 meters. The farms in the Dezful and Borujerd areas were examined, and a total of 90 and 130 sampling sites were identified and labeled with plates. Parameters of each station were recorded on these plates. The sampling started in March 2022 and lasted until mid-November 2022. To sample the population of aphids, a 1 x 1m quadrat was used in such a way that two quadrats were randomly thrown in each grid and six stems were selected from each box, and a total of 12 stems were selected, shaken inside a pan, and counted the aphids. A total of 22 sampling stages were performed. Excel 2010, SPSS ver. 26 and GS+ version 5.1 softwares were used for data analysis. The data related to each station were checked for normality by helping Kolmogorov-Smirnov test, and if necessary, they were placed in the determined coordinates by helping one of the appropriate data conversion methods. Then, variogram curves, as well as kriging maps for each sampling date were presented in the data that had the highest R^2 and degree of spatial dependence.

Results and Discussion

The results of surveying the geostatistical characteristics of *A.pisum* aphid in an alfalfa field in Borujerd city showed that out of 22 sampling cases, 12 cases were fitted with spherical model, eight cases with exponential model, and two cases with linear model (without spatial structure), which in all cases which were fitted with two spherical and exponential models, spatial dependence was observed. In these two models, the ratio of the nugget to the sill was very low, which resulted in an increase in the percentage of spatial dependence. The degree of spatial dependence varied between 0.500 and 0.999. Effective range in the spherical model was between 121.9 and 221.2 meters. In each of the variograms, except for three datasets, in the remaining datasets, the R^2 was high and between 0.55 and 0.95. Its distribution pattern was aggregative. Regarding this aphid species, in alfalfa fields of Dezful city, out of 21 sampling cases, 12 cases were fitted with spherical model, eight cases with exponential model and one case with the linear model. The spatial dependency in the two models ranged from 0.500 to 0.986, indicating a correlation between the distributions of aphids. Furthermore, the population distribution of this aphid species was shown to be aggregated. Effective range for them in the spherical model was between 137.9 and 493.4 meters. Percentage of the degree of spatial dependence for both farms was estimated to be more than 0.5, which means that more than 50% of variability among the data can be described by the spatial dependence, as a result of which the high degree of spatial dependence increases the accuracy of statistical estimation. By kriging maps, the density points of aphids population were checked on different dates, which can be used for advance warning at the beginning of the damaging stages, and by spraying about one-fifth of the field, a high percentage of the pest population can be reduced and avoid unnecessary spraying.

Conclusions

Finally, better outcomes in terms of the environment and control of the targeted pest may be achieved with less pesticide use by applying the science of geostatistics and creating kriging maps. To accomplish this important objective, using targeted pest site control is a good option. Moreover, preparing spatial distribution patterns of insects and preparation of distribution maps (kriging) make it easier to achieve this goal.

Keywords: Kriging, Pest management, Population dynamics, Semivariance, Variography

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۳۴۰-۳۲۷

بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری جمعیت شته *Acyrthosiphon pisum* Haris در مزارع یونجه شهرستان‌های دزفول (خوزستان) و بروجرد (لرستان)

ایمان صبوری[۱] - آرش راسخ[۲] - امیر محسنی امین[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲

چکیده

تجزیه‌های زمین‌آماری به‌عنوان یک روش جایگزین برای بررسی مشخصه‌های مربوط به داده‌های بوم‌شناختی متغیرهای مکانی به‌خصوص برای جمعیت حشرات کاربرد دارد. شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* Haris از مهم‌ترین گونه‌های شته در مزارع یونجه محسوب می‌شود. این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۴۰۱ در مزارع یونجه شهرستان‌های دزفول (خوزستان) و بروجرد (لرستان) به‌ترتیب با مساحت پنج و هفت هکتار (۹۰ و ۱۳۰ شبکه ۲۵ × ۲۵ متری) انجام شد. نمونه‌برداری از شته‌ها با استفاده از یک کادر ۱ × ۱ متری انجام و در هر شبکه، دو کادر به‌صورت تصادفی انداخته و از داخل هر کادر، شش ساقه و در مجموع، ۱۲ ساقه انتخاب و شمارش شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS^+ انجام و به‌منظور مدل‌سازی تغییرات وابستگی مکانی با افزایش فاصله بین نمونه‌ها، منحنی‌های نیم تغییرنما محاسبه و ارائه شد. نتایج تجزیه‌های زمین‌آماری برای شته فوق در مزارع یونجه شهرستان‌های دزفول و بروجرد نشان داد که از ۲۲ مرحله نمونه‌برداری، ۱۲ مورد با مدل کروی، هشت مورد با مدل نمایی و دو مورد با مدل خطی برازش داشتند. درجه وابستگی مکانی بین ۰/۵۰۰ تا ۰/۹۹۸ قرار گرفت که نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد از تغییرپذیری (واریانس) بین داده‌ها دارای ساختار مکانی هستند و ضریب تبیین بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۸متغیر بود. الگوی پراکنش این گونه از نوع تجمعی و دامنه مؤثر برای این گونه، در مدل نمایی به نسبت بالا و در مدل کروی در بروجرد بین ۱۲۱/۹ تا ۲۲۱/۲ متر و در دزفول بین ۱۳۷/۹ تا ۴۹۳/۴ متر قرار گرفت. با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از علم زمین‌آمار و نقشه‌های پراکنش به‌منظور ردیابی و پیش‌آگاهی جمعیت در اوایل حمله شته سبز نخود فرنگی به مزارع یونجه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات جمعیت، سمی‌واریوگرام، کریجینگ، مدیریت آفات، واریوگرافی

مقدمه

یونجه از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای به‌شمار می‌آید که فون‌های غنی از بندپایان را دربرمی‌گیرد (Alsuhaibani, 1996). در بین آفات و عوامل زیان‌آور، خسارت شته‌ها به‌عنوان یکی از آفات حائز اهمیت یونجه به‌خصوص در چین‌های دوم و سوم شایان توجه می‌باشد (Nakashima & Akashi, 2005; Afshari Rassoulian, 1989; *et al*., 2008; Canevari *et al*., 2015). جمعیت شته‌ها در صورت انبوه بودن، خسارت زیادی به محصول وارد می‌کنند که در خسارت مستقیم با تغذیه از شیره گیاهی باعث ضعف، توقف رشد و همچنین خشک شدن بوته‌های گیاه میزبان می‌شوند. تغذیه آن‌ها از شیره گیاهی همراه با ترشح عسلک و در نهایت، رشد قارچ مولد دوده

۱ و ۲- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳- دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: imansabouri900@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jpp.2024.87278.1180

(فوماژین[1]) می‌باشد. این آفات همچنین با انتقال ویروس‌های بیمارگر گیاهی به‌صورت غیرمستقیم سبب خسارت می‌شوند (Mittler & Sylvester, 1961; Eastop, 1971; Rakhshani et al., 2006; Golawska et al., 2010). از جمله شته‌های مهم مزارع یونجه به نقل از منابع مختلف (Mittler & Sylvester, 1961; Eastop, 1971; Monajemi & Esmaili, 1981) گونه *Acyrthosiphon pisum* Haris است که از نقاط مختلف دنیا گزارش شده است (Nakashima & Summers, 1976; Grigorov, 1982; Akashi, 2005). همچنین از فعالیت این گونه شته در نقاط مختلف در ایران گزارش‌هایی ارائه شده است که روی بسیاری از گیاهان علوفه‌ای و بیشتر گیاهان خانواده بقولات مانند لوبیا، باقلا، نخود و یونجه تشکیل کلونی می‌دهند (Monajemi & Esmaili, 1981; Rassoulian,1985; Canevari et al., 2015).

زمین‌آمار[2] براساس نظریه متغیرهای ناحیه‌ای می‌باشد که با داده‌ها یا متغیرهای مکانی ارتباط دارد و می‌توان آن را مترادف با آمار مکانی دانست. زمین‌آمار یکی از روش‌های آماری محسوب می‌شود که قادر به در نظر گرفتن جزء وابسته به مکان تغییرات است و شامل آمار کلاسیک می‌باشد (Madani, 1994). در این روش فرض بر این است که نمونه‌های انتخاب شده از جامعه از یکدیگر مستقل نیستند و تا فاصله معینی به‌صورت مکانی نسبت به یکدیگر دارای وابستگی می‌باشند. این ارتباط مکانی نیز می‌تواند در قالب یک مدل ریاضی بیان شود که این مدل‌های ریاضی را ساختار مکانی[3] می‌گویند (Journel & Huijbregts, 1978; Hasani Pak, Madani, 1994; 1998). زمین‌آمار شامل دو بخش واریوگرافی[4] و کریجینگ[5] است (Gressie, 1993). پایه و اساس زمین‌آمار سمی‌واریوگرام[6] می‌باشد که نمودار واریانس براساس فاصله بین نمونه‌ها می‌باشد که این نمودار، ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را به نمایش می‌گذارد. جهت محاسبه و همچنین تعیین مدل نیم تغییرنمای تجربی، ابتدا باید مجذور اختلاف یک کمیت (میزان جمعیت) در دو نقطه (هر زوج نمونه) به فاصله معین h تعیین و سپس میانگین مجذور این اختلاف‌ها، بررسی و محاسبه شوند. در این صورت به میانگین، نیم تغییرنما یا سمی‌واریوگرام گفته شده و از طریق معادله ۱ محاسبه می‌شود (Madani, 1994). در چنین شرایطی، مجذور اختلاف جمعیت در کلیه نقاط با فاصله افقی h از یکدیگر قرار دارند.

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(xi) - z(xi+h)] \qquad (۱)$$

کریجینگ به‌معنای "پیش‌بینی بهینه" نیز یکی از روش‌های زمین‌آماری محسوب می‌شود که جهت برآورد مقدار متغیر ناحیه‌ای در مناطق مختلف مزرعه کاربرد دارد (Habashi et al., 2007). در مورد تخمین زمین‌آماری می‌توان چنین عنوان کرد که مقدار یک کمیت در مناطقی با مختصات مشخص را با استفاده از همان کمیت، در نقاط دیگر با مختصات معلوم برآورد می‌کند (Hasani Madani, 1994; Pak, 1998). با استفاده از این روش، مقدار یک متغیر ناحیه‌ای در نقاطی که نمونه‌گیری صورت نگرفته با دقت بالایی برآورد می‌شود و این نقشه‌ها می‌توانند تغییرات جمعیت و همچنین امکان رسیدن آن‌ها به آستانه اقتصادی را در مناطق مختلف مزرعه پیشگویی کنند، بنابراین می‌توانند در برنامه مدیریت آفات کارآیی گسترده‌ای داشته باشند (Isaaks & Srivastava, 1989; Liebhold et al.,1993; Goovaerts, 1998).

محققان بسیاری با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه مکانی از جمله زمین‌آمار، پراکنش مکانی- زمانی حشرات مختلفی را مطالعه نموده‌اند. آزاد (Azad, 2010) پراکنش فضایی، درجه وابستگی مکانی و دامنه مؤثر شته‌های گندم را در مزارع باجگاه شیراز توسط زمین‌آمار مورد بررسی قرار داد. شایسته‌مهر (Shayestehmehr, 2014)، همبستگی مکانی-زمانی شته خالدار یونجه *Therioaphis maculata* Buckten و کفشدوزک *Hippodamia variegata* Goeze را در مزارع یونجه مطالعه کرد که براساس نتایج به‌دست آمده، هر دو حشره دارای پراکنش تجمعی بودند. کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh et al., 2015)، الگوی پراکنش مکانی سرخرطومی‌های ریشه‌خوار و برگ‌خوار یونجه را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کرده و نشان دادند که حشرات مورد مطالعه دارای پراکنش تجمعی و وابستگی مکانی متوسط تا قوی هستند. قهرمانی (Ghahremani, 2017)، پراکنش شته‌ها، کفشدوزک‌ها و سن‌های گیاهی در مزارع یونجه کرکج را با استفاده از زمین‌آمار تجزیه کرده و میزان وابستگی آن‌ها را مورد بررسی قرار داد که مقادیر درجه وابستگی مکانی[7] DD برای آن‌ها بزرگ‌تر از ۵۰ درصد بود که نشان‌دهنده توزیع تجمعی می‌باشد. ری-جونز (Reay-Jones, 2017)، پراکنش مکانی سوسک برگخوار غلات *Oulema melanopus* (L.) را با استفاده از زمین‌آمار مطالعه و الگوی پراکنش

1- Sooty mold
2- Geostatistic
3- Spatial structure
4- Variogram
5- Kriging
6- Semi-variogram
7- Degree of spatial dependence

آن را از نوع تجمعی گزارش کرد. اِلسیری و همکـاران (Ellsbury *et al.*, 1998)، الگوی ظهور کرم ریشه غربی *Diabrotica virgifera* LeConte و کـرم ریشـه شـمالی *D. barberi* Smith and Lawrwnce را بررسی کرده و عنوان کرد که برازش گونه‌های غربی با مـدل کروی[1] و گونه‌های شـمالی بـا مـدل نمـایی[2] مطابقـت دارنـد. بـرای به‌دسـت آوردن ضـرایب کریجینـگ، محاسبه مقـدار واریـوگرام نیـز ضروری می‌باشد، به همین دلیل مدل‌های کروی، نمـایی، گوسـی[3] و مدل اثر قطعه‌ای[4] خام یا خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با مقایسه نقشه‌های کریجینگ در تاریخ‌هـای متـوالی می‌تـوان مسـیرهای ورود آفت مورد نظر را به مزرعه شناسایی کرد.

هـدف از اجـرای ایـن تحقیـق، تعیـین مشخصـات زمین‌آمـاری گونه‌های مورد مطالعه شته با استفاده از نقشه‌های کریجینگ جمعیـت در تاریخ‌های متـوالی می‌باشـد. بـا اسـتفاده از نقشـه‌های کریجینـگ می‌توان به نقشه پراکندگی گونه هدف دست پیدا کرد و با مقایسه این نقشه‌ها، مسیرهای ورود آفت به مزرعه را شناسـایی نمـود. بـا تعیـین نقاط پرتراکم آفت و مسیرهای ورودی آن به مزرعه، می‌تـوان قبـل از طغیان، نسبت به مبارزه با آفت در نقاط آلوده اقـدام و ضـمن کـاهش خسارت آفت، هزینه مدیریت را به‌شدت کاهش داد.

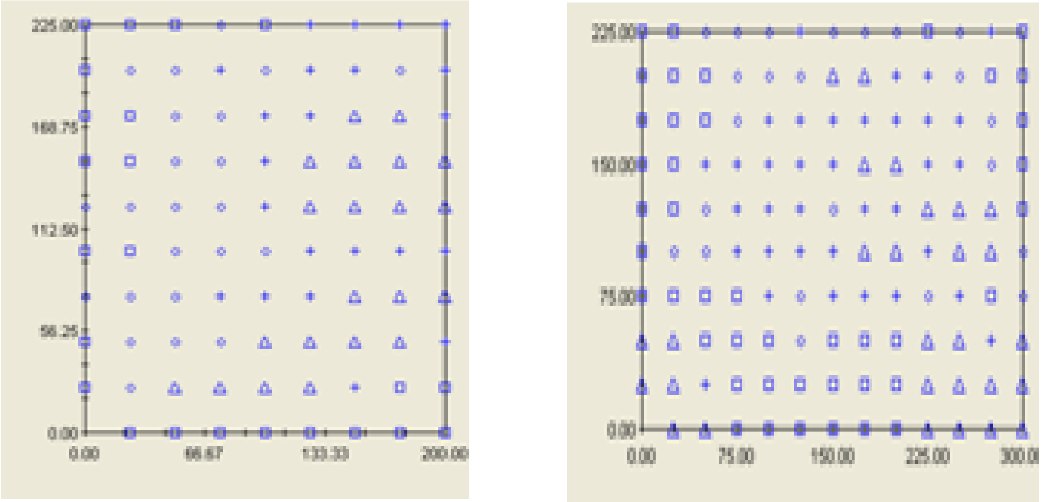
مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال زراعی ۱۴۰۰– ۱۴۰۱ در دو مزرعـه یونجـه سه ساله واقع در شهرستان دزفول (با مختصات جغرافیـایی طـول ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۸۷ متر) و بروجرد (با مختصات جغرافیایی طول ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه و عرض ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ارتفاع از سطح دریـا ۱۱۰۰ متر) انجام شد. مساحت و ارقام مـورد مطالعـه مـزارع یونجـه در ایـن مطالعه به‌ترتیب پنج (رقم بغدادی) و هفت هکتار (رقم همدانی) بوده و موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا توسط دستگاه موقعیت‌یـاب جغرافیایی[5] مشخص شد. در اسفند ماه ۱۴۰۰ در مزارع انتخاب شـده، تمامی اقدامات زراعـی مطـابق روش معمـول در آن منطقـه صـورت گرفت. به‌منظور ثبت تراکم جمعیت حشره آفـت مـورد نظـر در نقـاط مختلف مزارع انتخـاب شـده، تعـداد و موقعیـت مکـانی هـر ایسـتگاه نمونه‌برداری براساس مختصات طول و عرض آن‌هـا (برحسـب متـر) مشخص و طی دوره نمونه‌برداری، ثابـت در نظـر گرفتـه شـد. بـدین منظور برای مشخص کردن موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری، ابتدا چهار جهت اصلی را در مزارع مشخص و از منطقه جنـوب غربـی مزارع و به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای مزرعـه، از دو یـا سـه متـری حاشیه مزارع، نقطه‌ای با مختصات (0,0) انتخاب شد. هرکدام از مزارع مورد نظر به شبکه‌های منظم ۲۵ × ۲۵ متری تقسـیم شـد. در مـزارع مورد مطالعه در منطقه دزفـول و بروجـرد بـه‌ترتیب تعـداد ۹۰ و ۱۳۰ ایستگاه نمونه‌برداری توسط پلاک‌هایی مشخص و روی این پلاک‌هـا مشخصات هر ایستگاه نوشته شد (شکل ۱). جهت تعیین زمان مناسب نمونه‌برداری و شروع آلودگی، نمونه‌گیری از اواسط اسفندماه شـروع و بعد از ظهور شته‌ها، نمونه‌برداری به‌صورت مـنظم و هفتگـی صـورت گرفـت. بـرای کـاهش خطـای نمونـه‌برداری و ایجـاد یکنـواختی، نمونه‌برداری در کلیه تاریخ‌ها، در طول روز حدود ساعت ۸ صبح تا ۱۲ ظهر انجام می‌شد. همچنین بعد از برداشت چین‌ها، زمـانی کـه طـول ساقه به حدود ۱۵ سانتی‌متر می‌رسید‌ف عملیات نمونـه‌برداری از سـر گرفتـه شـد. نمونـه‌برداری‌ها بـه‌دلیل یکسـان بـودن در تاریخ‌هـای نمونه‌برداری و تعداد دفعات نمونه‌برداری به‌طور همزمان در اسـفندماه ۱۴۰۰ شـروع و تـا اواسـط آبـان مـاه ۱۴۰۱ ادامـه یافـت. پـس از نمونه‌برداری اولیه و شناسایی گونه‌های مختلف شـته در مـزارع مـورد مطالعه، از تقسیم میانگین جمعیت این گونه‌ها (در تاریخ‌های مختلـف نمونه‌برداری) بر میـانگین جمعیـت گونـه‌های مختلـف شـته، درصـد فراوانی هر گونه تعیین شد. به‌منظور نمونه‌برداری از جمعیت شته‌ها، از یک کادر ۱ × ۱ متری استفاده شد، به این ترتیب کـه در هـر شـبکه، تعداد دو کادر به‌صورت تصادفی انداخته و از هر کادر تعداد شش ساقه انتخاب و در مجموع، ۱۲ ساقه انتخاب و در داخل یـک تشـت تکـان داده شـده و شـته‌ها شـمارش شـدند. در کـل، تعـداد ۲۲ مرحلـه نمونه‌برداری از تاریخ شروع تا پایان نمونـه‌برداری انجـام گرفـت کـه بـه‌منظور تجزیـه و تحلیـل داده‌هـا از نرم‌افزارهـای Excel 2010، SPSS ver. 26 (SPSS, 2018) و +GS نسـخه ۵/۱ (Robertson, 1998) استفاده شد. نرمال بودن داده‌های مربوط به هـر ایسـتگاه بـه کمک آزمون کولموگروف–اسمیرنف[6] بررسی شد.

سپس منحنی‌های واریـوگرام و همچنـین نقشـه‌های کریجینـگ برای هر تاریخ نمونه‌برداری، در داده‌هایی که بالاترین ضریب تبیین و درجه وابستگی مکانی را داشتند، ارائه شد. برای این منظور، مدل‌های مختلف کروی، خطی، گوسی و نمایی مورد آزمون قرار گرفتند.

1- Spherical
2- Exponential
3- Guassian
4- Pure nugget effect
5- Global positioning system
6- Kolmogorov–Smirnov test

(b) (a)



شکل ۱- الف: نقاط نمونه‌برداری در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد (متر)، ب: نقاط نمونه‌برداری در مزرعه یونجه شهرستان دزفول (متر)

Figure 1- A: Sampling points in the alfalfa field of Boroujerd city, B: Sampling points in the alfalfa field of Dezful city

مدل‌های کروی و نمایی که بیشترین کاربرد را در مطالعات حشره شناسی دارند، توسط معادله‌های زیر محاسبه شدند (Hasani Pak, 1998).

(۲) مدل نمایی

$$y(h) = C0 + c \times (1 - e^{\frac{-h}{a}}) \quad (۲)$$

(۳) مدل کروی

$$y(h) = C0 + c\left[\frac{3h}{2a} + \frac{h^3}{2a}\right] \quad (۳)$$

که در آن‌ها، h: فاصله گام‌ها، C_0: اثر قطعه‌ای، C_0+C: آستانه[1]، a: دامنه یا شعاع تأثیر و e: عدد نپر یا پایه لگاریتم طبیعی (۲/۷۱۸۲۸۱۸) است. مدلی که دارای بیشترین ضریب تبیین و درجه وابستگی مکانی بود به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. بعد از انتخاب مدل، از اجزاء آن یعنی سقف، دامنه مؤثر و اثر قطعه‌ای برای تعیین درجه وابستگی مکانی داده‌ها استفاده شد. درجه وابستگی مکانی از معادله زیر محاسبه شد:

$$DD = \left(\frac{c}{C0+C}\right)100 \quad (۴)$$

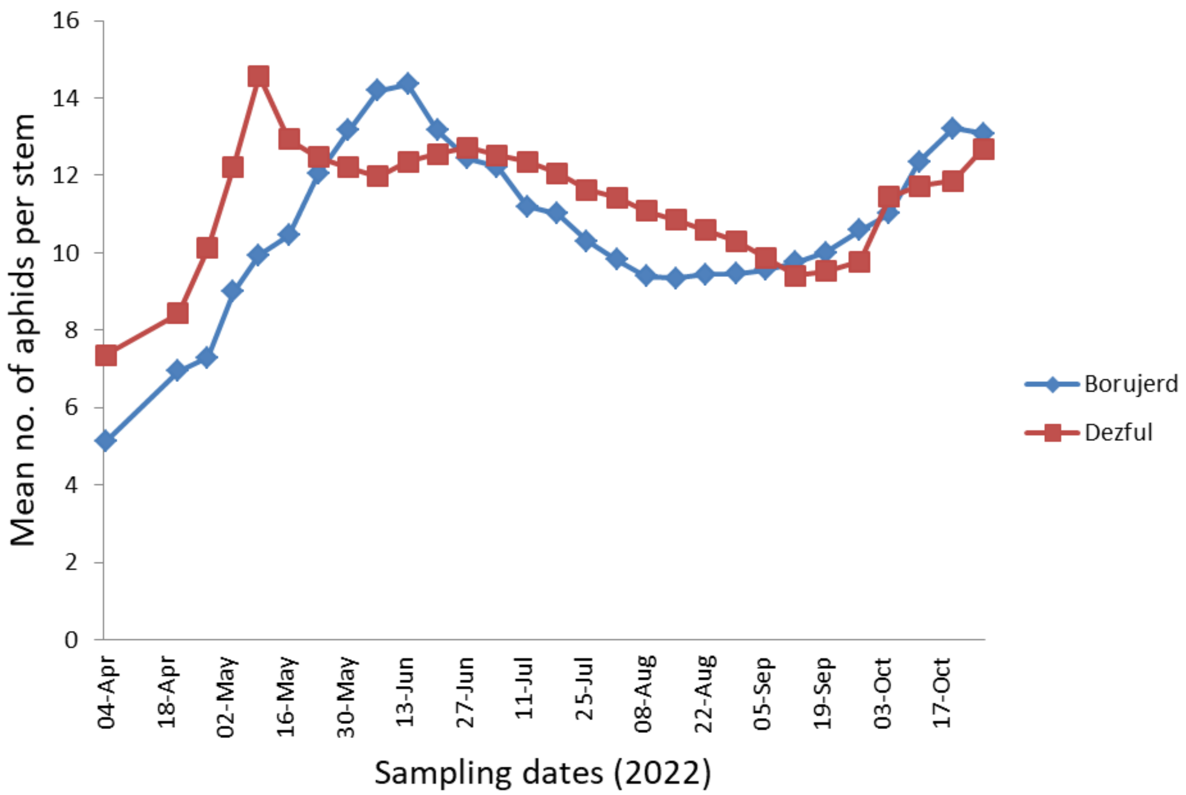
که در آن، C_0: اثر قطعه‌ای و C_0+C: سقف تغییرنما می‌باشد. مقادیر DD کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف، مقادیر ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی متوسط و مقادیر بالای ۷۵ درصد نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی است (Karimzadeh *et al.*, 2011).

نتایج و بحث

گونه‌های جمع‌آوری شده از جمعیت شته‌های مزارع یونجه

در این پژوهش، چهار گونه شته *A. pisum*، *Acyrthosiphon kondoi* Shinji and Kondo، *Therioaphis maculate* (Buckton) و *Aphis craccivora* Koch از مزارع یونجه دو شهرستان جمع‌آوری و شناسایی شدند. شته سبز نخود فرنگی، شته غالب در مزارع مورد بررسی بود، به‌طوری‌که در شهرستان بروجرد و دزفول به‌ترتیب ۳۶/۳۹ و ۳۸/۴۲ درصد از جمعیت شته‌ها مربوط به این گونه بود. نمودارهای رسم شده نیز نشان دادند که روند تغییرات زمانی میانگین جمعیت شته نخود در هر دو مزرعه تا حد زیادی مشابه بوده و در ماه‌های اردیبهشت تا اواسط خرداد جمعیت بالایی دارند و در شهریور ماه به اوج خود می‌رسد (شکل ۲). قهرمانی (Ghahremani, 2017) در پژوهشی روند تغییرات زمانی شته نخود را مورد بررسی قرار داد و افزایش چشم‌گیر جمعیت این گونه را در شهریورماه گزارش کرد. تغییرات جمعیت شته‌ها می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند تغییرات آب‌وهوایی، دشمنان طبیعی و برداشت چین‌ها باشد (Takahashi & Natio, 1984; Tomanovic *et* Summer,1976; *al.*, 1996).

1- Sill



شکل ۲- تغییرات جمعیت شته سبز نخود فرنگی، *Acyrthosiphon pisum* در مزارع یونجه بروجرد و دزفول در سال ۱۴۰۱

Figure 2- Changes in the population of green pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* in Boroujerd and Dezful alfalfa fields in 2022

نتایج بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری شته *A.pisum* در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد نشان داد که از ۲۲ مورد نمونه‌برداری انجام گرفته، ۱۲ مورد با مدل کروی و هشت مورد با مدل نمایی و دو مورد با مدل خطی (بدون ساختار فضایی) برازش داشتند که در تمامی مواردی که با دو مدل کروی و نمایی برازش داشتند، وابستگی مکانی مشاهده شد (جدول ۱). در این دو مدل، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بسیار پایین بود که در نتیجه، موجب بالا رفتن درصد درجه وابستگی مکانی شد. در مدل‌های کروی و نمایی برای این گونه شته، درجه وابستگی مکانی بین ۰/۵۰۰ تا ۰/۹۹۹ متغیر بود، که بیانگر این موضوع بود که بیش از ۵۰ درصد از تغییرپذیری (واریانس) بین داده‌ها دارای ساختار مکانی هستند. همچنین دامنه مؤثر برای این گونه، در مدل نمایی به نسبت بالا بود و در مدل کروی بین ۱۲۱/۹ تا ۲۲۱/۲ متر قرار گرفت. در مطالعه‌ای که روی توده‌های تخم شب پره ابریشم‌باف ناجور .(L.) *Lymantria dispar* در جنگل‌های آمریکا توسط لیبهولد و همکاران (Liebhold *et al*., 1993) انجام شد، مقادیر وابستگی مکانی از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت و حدود نصف آستانه و در برخی سال‌ها و برخی مناطق، مقدار آن را کمتر از نصف آستانه عنوان نمودند و دامنه مؤثر را از ۲۵ متر تا ۱۰۰ کیلومتر گزارش کردند. در هریک از واریوگرام‌ها در دو مدل کروی و نمایی به استثناء سه مورد، ضریب تبیین بالا و بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۵ بود که این موضوع می‌تواند بیانگر آن باشد که وابستگی فضایی بین جمعیت این گونه شته بالا بوده و الگوی پراکنش آن نیز تجمعی می‌باشد.

در خصوص این گونه شته، در مزارع یونجه شهرستان دزفول نتایج آماره‌های زمین‌آماری بیانگر این مطلب بود که از ۲۱ مورد نمونه‌برداری، ۱۲ مورد با مدل کروی، هشت مورد با مدل نمایی و یک مورد با مدل خطی برازش داشت (جدول ۲). در تمامی مدل‌های کروی و نمایی نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه پایین بود، به‌طوری‌که درجه وابستگی مکانی در دو مدل فوق، بین ۰/۵۰۰ تا ۰/۹۸۶ قرار گرفت که نشان‌دهنده وابستگی فضایی بین شته‌ها می‌باشد و پراکندگی جمعیت این شته نیز از نوع تجمعی بود، به‌طوری‌که ضریب تبیین برای آن‌ها به‌جز دو مورد، در بقیه موارد بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۸ نوسان داشت. دامنه مؤثر برای آن‌ها در مدل کروی بین ۱۳۷/۹ تا ۴۹۳/۴ متر قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات زمین‌آماری جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد در سال ۱۴۰۱

Table 1- Geostatistical characteristics of green pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* population in alfalfa field of Boroujerd city in 2022

Sampling date	Model	Nugget	Sill	Rang	Effective range	DD	R^2
2022.05.10	Spherical	0.01	18.04	121.9	121.9	0.999	0.95
2022.05.17	Pure nugget effect	16.48	16.48	280.8	280.8	0.00	0.00
2022.05.24	Pure nugget effect	19.57	19.57	280.8	280.8	0.00	0.00
2022.05.31	Exponential	0.01	26.24	40.6	121.8	0.999	0.64
2022.06.07	Spherical	0.3	31.98	122.6	122.6	0.991	0.71
2022.06.14	Spherical	1.63	32.06	131.4	131.4	0.949	0.57
2022.06.21	Spherical	3.08	30.71	166.1	166.1	0.900	0.94
2022.06.28	Spherical	0.01	23.81	147.9	147.9	0.999	0.91
2022.07.05	Spherical	1.94	23.11	149.0	149.0	0.916	0.89
2022.07.12	Spherical	0.35	18.27	155.1	155.1	0.981	0.86
2022.07.19	Spherical	2.47	19.79	188.0	188.0	0.875	0.81
2022.08.09	Spherical	4.65	26.01	202.5	202.5	0.821	0.94
2022.08.16	Spherical	0.19	25.89	134.2	134.2	0.993	0.77
2022.08.23	Exponential	1.80	47.12	37.3	111.9	0.962	0.55
2022.08.30	Exponential	42.9	85.81	710.9	2132.7	0.500	0.19
2022.09.06	Exponential	43.0	86.1	404.1	1213.2	0.500	0.22
2022.09.13	Exponential	51.0	102.01	710.9	2132.7	0.500	0.14
2022.09.20	Exponential	0.1	69.43	35.2	105.6	0.999	0.63
2022.09.28	Exponential	24.1	72.08	75.1	225.3	0.666	0.83
2022.10.05	Exponential	12.9	61.92	65.4	196.2	0.792	0.93
2022.10.12	Spherical	17.25	44.2	221.2	221.2	0.610	0.89
2022.10.20	Spherical	13.24	43.81	173.1	173.1	0.698	0.87

جدول ۲- مشخصات زمین‌آماری جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* در مزرعه یونجه شهرستان دزفول در سال ۱۴۰۱

Table 2- Geostatistical characteristics of green pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* population in alfalfa field of Dezful city in 2022

Sampling date	Model	Nugget	Sill	Rang	Effective range	DD	R^2
2022.05.10	Spherical	8.29	27.50	159.4	159.4	0.699	0.85
2022.05.17	Spherical	10.24	33.61	185.3	185.3	0.695	0.90
2022.05.24	Exponential	7.59	33.44	126.4	379.2	0.773	0.98
2022.05.31	Spherical	14.53	29.07	209.03	209.03	0.500	0.90
2022.06.07	Spherical	14.6	41.03	483.3	483.3	0.644	0.86
2022.06.14	Exponential	6.69	30.28	121.2	363.6	0.779	0.98
2022.06.28	Spherical	11.46	24.43	165.8	165.8	0.531	0.71
2022.07.05	Spherical	8.05	33.01	493.4	493.4	0.756	0.97
2022.07.12	Spherical	6.83	15.34	204.3	204.3	0.555	0.86
2022.07.19	Exponential	9.63	34.05	504.6	1513.8	0.717	0.75
2022.07.26	Exponential	9.60	19.21	299	897	0.500	0.37
2022.08.02	Spherical	6.13	12.7	172	172	0.517	0.82
2022.08.09	Exponential	3.07	10.96	38.4	115.2	0.725	0.59
2022.08.23	Exponential	4.75	14.53	46.3	138.9	0.673	0.62
2022.08.30	Exponential	8.85	35.11	505.8	1517.4	0.748	0.80
2022.09.06	Spherical	4.02	28.86	137.9	137.9	0.861	0.81
2022.09.13	Exponential	12.75	25.51	276.6	829.8	0.500	0.40
2022.09.20	Pure nugget effect	15.43	15.43	208.4	208.4	0.00	0.05
2022.10.05	Spherical	4.3	42.4	178.9	178.9	0.899	0.95
2022.10.12	Spherical	0.6	42.5	178.4	178.4	0.986	0.91
2022.10.20	Spherical	7.16	34.4	148.1	148	0.792	0.79

برای طراحی الگوی نمونه‌برداری، وجود اطلاعات قبلی در ارتباط با نحوه پراکنش مکانی حشرات حائز اهمیت است که اگر این اطلاعات از ساختار مکانی در منطقه مورد نظر در دسترس باشد، نمونه‌برداری مستقیم از محل‌های مشخص مناسب‌تر خواهد بود، ولی در شرایطی که چنین اطلاعاتی در اختیار نداریم، کارآمدترین الگوی نمونه‌برداری از نظر کاهش پراکندگی نمونه و همچنین پوشش دادن منطقه مورد نظر، روش شبکه‌بندی می‌باشد که نمونه‌برداری در این شبکه‌های منظم، حداکثر اطلاعات را از آن منطقه در اختیار ما قرار می‌دهد. انتخاب نمونه در هر شبکه به‌صورت تصادفی می‌باشد (McBratney *et al.*,1981). در این پژوهش نیز در ارتباط با مقیاس

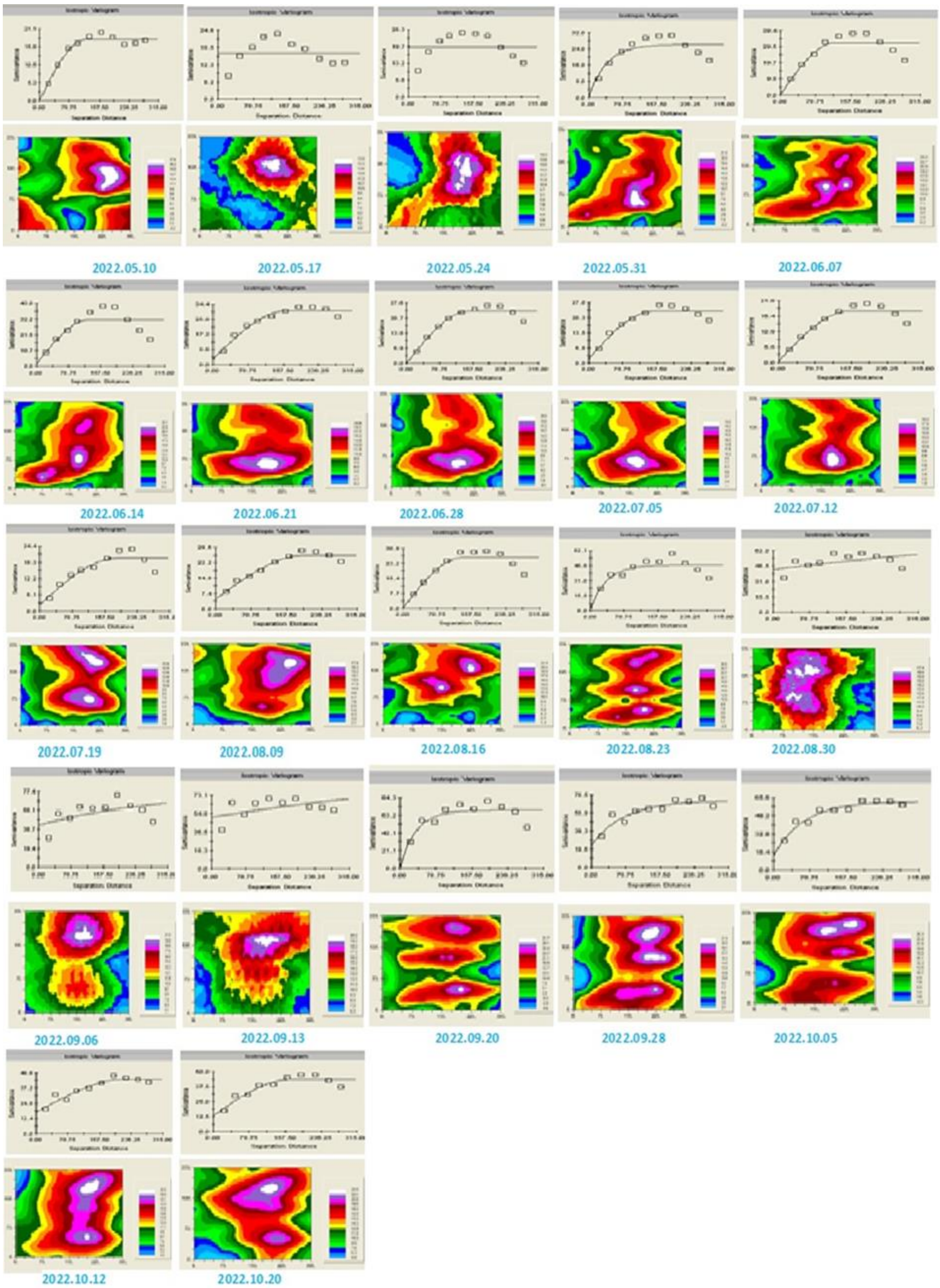
وابستگی مکانی شته‌ها در مزارع یونجه مناطق مورد نظر، اطلاعی در دسترس نبود، بنابراین از روش شبکه‌بندی منظم به‌منظور نمونه‌برداری استفاده شد. محققان مختلفی با استفاده از روش‌های گوناگون، الگوی پراکنش مکانی حشرات را مطالعه نمودند، به‌عنوان مثال با استفاده از روش زمین‌آمار، نحوه پراکنش مکانی گونه‌های مختلف آفات شامل کرم‌های ریشه ذرت .*Diabrotica* spp (Park & Telfson, 2005)، کرم قوزه پنبه *Helicoverpa armigera* Hübner ((Moral Garcia, 2006)، کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* Koch (Hojati *et al.*, 2011) و مگس زیتون (Gmelin) *Bactrocera oleae* (Castrignano *et al.*, 2012) تعیین شده است.

در ارتباط با مقادیر اثر قطعه‌ای، اگر اثر قطعه‌ای از نصف آستانه کمتر باشد، قابل قبول می‌باشد. در این پژوهش، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بسیار پایین بود که در نتیجه، موجب بالا رفتن درصد درجه وابستگی مکانی شد که برای هر دو مزرعه، بیش از ۰/۵ برآورد شد. این برآورد به این معنا است که بیش از ۵۰ درصد از تغییرپذیری بین داده‌ها توسط وابستگی مکانی قابل توصیف می‌باشد که در نتیجه بالا بودن درجه وابستگی مکانی، افزایش دقت برآورد آماری توسط کریجینگ را به همراه خواهد داشت (Southwood, 1975).

همچنین در بیشتر موارد، مقادیر اثر قطعه‌ای بالاتر از صفر بود، به‌صورت نظری وقتی فاصله بین نمونه‌ها افزایش می‌یابد، مقادیر سِمی‌واریانس هم به‌آرامی افزایش پیدا می‌کند و اثر قطعه‌ای به‌سمت صفر میل می‌کند، ولی در عمل در بیشتر موارد مقادیر سِمی‌واریانس در مبدأ صفر نیست و در فواصل کوتاه، تغییرات ناگهانی و سریع از خود نشان می‌دهد. عوامل گوناگونی مانند خطای نمونه‌برداری، وابستگی مکانی متغیر مورد بررسی در فاصله‌های کمتر از کوتاه‌ترین فاصله نمونه‌برداری می‌تواند سبب مقادیر غیر صفر اثر قطعه‌ای گردد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری در این تحقیق، چنان‌چه لازم باشد که براساس جمعیت شته، اقدام به پیش‌آگاهی جمعیت شته‌های یونجه شود، با استفاده از روش کریجنگ به‌خوبی می‌توان در نقاط مختلف مزرعه، تراکم جمعیت شته‌ها را تخمین زد. در پژوهشی، محسنی در مزارع گندم دیم بروجرد، تجزیه و تحلیل‌های مربوط به شته‌های مهم گندم *Schizaphis graminum* Rondani، *Sitobion avenae* (F.) و *Rhopalosiphum padi* را بررسی و دامنه وابستگی مکانی را برای این سه گونه به‌ترتیب ۱۳۸، ۱۱۹ و ۹۰ برآورد نمود (Mohiseni *et al.*, 2007). دامنه مؤثر برای شته‌ها در شهرستان دزفول حداقل ۱۳۷ و در شهرستان بروجرد ۱۲۱ متر بود، بنابر پیشنهاد حسنی پاک (Hasani Pak, 1998) برای طراحی شبکه‌های نمونه‌برداری سیستماتیک در زمین‌آمار، فاصله بین نمونه‌ها را می‌توان تا ۷۵ درصد مقادیر دامنه مؤثر، افزایش داد. در نتیجه، با افزایش مقادیر دامنه مؤثر در یک مزرعه با مساحت معین جهت برآورد تراکم جمعیت‌ها، به تعداد نمونه کمتری نیاز خواهد بود و می‌توان هزینه‌های نمونه‌برداری را کاهش داد. در این پژوهش با توجه به اینکه ۰/۷۵ دامنه مؤثر را می‌توان برای نمونه‌برداری توصیه کرد، می‌توان فاصله نمونه‌برداری را تا حدود ۹۰ متر در مزارع بزرگ افزایش داد. البته این در حالی است که مقدار اثر قطعه‌ای در محدوده صفر قرار گرفته باشد، با توجه به اینکه مقدار اثر قطعه‌ای در این تحقیق بالا بود، بنابراین دستیابی به نقشه‌های کریجینگ کاملاً ناایب تا حدودی غیرممکن است، در نتیجه برای بالا بردن دقت در محاسبه واریوگرام‌ها و همچنین نقشه کریجینگ، می‌بایست فاصله بین نمونه‌ها را کاهش و اندازه نمونه را افزایش داد (Rendu, 1981). در این ارتباط، رابطه $\frac{n}{N \times C} = CO$ به‌منظور محاسبه اثر قطعه‌ای حاصل از n نمونه پیشنهاد شده است (Rendu, 1981). با استفاده از این رابطه می‌توان با افزایش تعداد نمونه، اثر قطعه‌ای را کاهش داد.

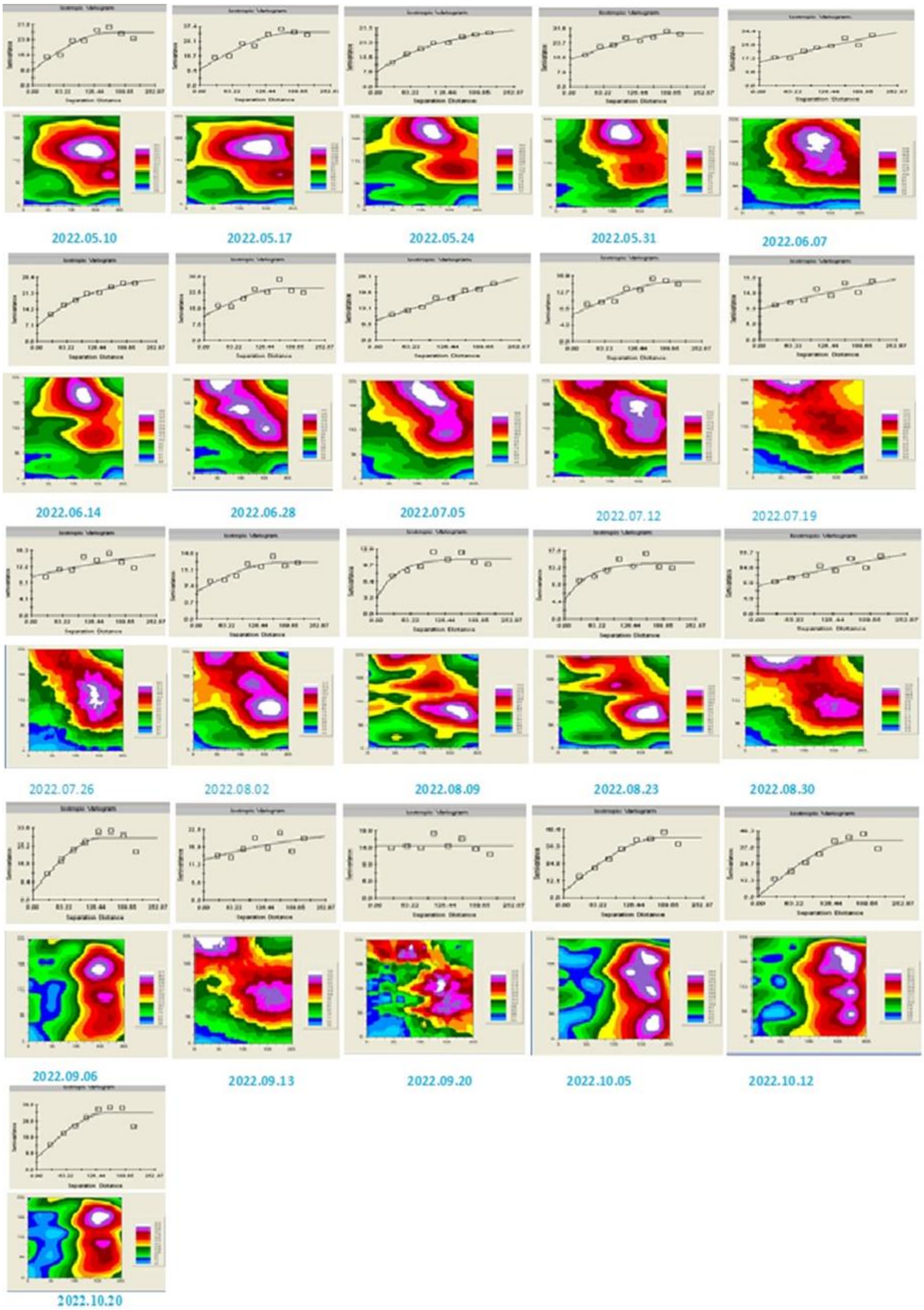
بررسی مشخصه‌های زمین‌آماری می‌تواند اطلاعات بسیاری در رابطه با الگوی پراکنش جمعیت‌ها، در اختیار ما قرار دهد. در این پژوهش نیز نتایج حاصل از روش زمین‌آمار بیانگر این موضوع بود که پراکنش مکانی گونه شته مورد نظر همانند اغلب حشرات از نوع تجمعی بود و در تمام طول تاریخ‌های نمونه‌برداری، وابستگی فضایی شدیدی بین شته‌ها وجود داشت. الگوی پراکنش مکانی تجمعی برای حشرات دیگری مانند سوسک برگ‌خوار غلات *O. melanopus* (Reay–Jones, 2012)، مگس اصطبل *Stomoxys calcitrans* (Taylor *et al.*, 2013) و کرم ریشه‌خوار انگور *Vitacea polistiformis* (Rijal *et al.*, 2014) نیز گزارش شده است.

در پژوهشی روی بررسی آماره‌های زمین‌آماری کرم مفتولی Mannerheim *Limonius californicus*، الگوی پراکنش این آفت از نوع تجمعی گزارش شد (Williams *et al.*, 1992). در تحقیقی دیگر، مشخصه‌های زمین‌آماری مراحل مختلف سن گندم در مزارع گندم دیم شهرستان بروجرد در استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت که پراکنش فضایی مراحل تخم و پوره سنین یک و دو از نوع تجمعی بود. این محققان، استفاده از این روش را در مزارع گندم دیم برای پیش‌آگاهی سن گندم براساس تراکم جمعیت پوره سن دو توصیه نمودند (Mohiseni *et al.*, 2007). لطیفیان و سلیمان‌نژادیان (Latifian & Soleyman Nejadian, 2009) در تحقیقی پراکنش کرم میوه‌خوار خرما Meyrick *Batrachedra amydrraula* را در استان خوزستان توسط مدل زمین‌آماری مورد بررسی قرار دادند. مدل پراکنش شدت آسیب این آفت در مناطق مختلف مورد مطالعه با مدل نمایی، برازش مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌ها نشان داد و براساس آن، نقشه کریجینگ آفت ترسیم شد.



شکل ۳– نیم تغییرنما و نقشه‌های کریجینگ جمعیت شته سبز نخود فرنگی *Acyrthosiphon pisum* در تاریخ‌های مختلف در مزرعه یونجه شهرستان بروجرد در سال ۱۴۰۱

Fi**gure 3-** Semivariogram and contour maps of *Acyrthosiphon pisum* aphid population on different dates in alfalfa field of Boroujerd city in 2022



شکل ٤– نیم تغییرنما و نقشه‌های کریجینگ جمعیت شته *Acyrthosiphon pisum* در تاریخ‌های مختلف در مزرعه یونجه شهرستان دزفول در سال ۱۴۰۱

Figure 4- Semivariogram and contour maps of *Acyrthosiphon pisum* aphid population on different dates in alfalfa field of Dezful city in 2022

نتایج بررسی‌های داده‌های زمین‌آماری پژوهش حاضر منطبـق بـا نتایج پژوهش‌های محققان فـوق بـود، چـرا کـه در اکثـر تاریخ‌هـای نمونه‌برداری با توجه به اینکه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بسیار پایین و درجه وابستگی مکانی بین داده‌ها بالا بود و همچنین ضریب تبیین

در اکثر موارد بسیار بالا و بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۸ حاصل شد، الگوی پراکنش آفت از نوع تجمعی به‌دست آمد. در این پژوهشف بررسی آماره‌های زمین‌آماری نشان داد که جمعیت شته‌ها، بهترین برازش را با مدل کروی نشان می‌دهند.

در روش زمین‌آمار، می‌توان توسط نقشه‌های کریجینگ تراکم جمعیت آفت را در مناطق مختلف مزرعه مشخص کرد، در نتیجه می‌توان تنها در مناطق آلوده، عملیات مهار آفت را انجام داده و با کاهش تعداد نمونه‌گیری و تمرکز بیشتر و دقت بالاتر عملیات مهار، موجبات کاهش هزینه‌های مهار آفت مورد نظر را فراهم نمود. در این پژوهش، در تاریخ‌های مختلف، نقاط تراکم جمعیت شته توسط نقشه‌های کریجینگ بررسی شد (شکل‌های ۳ و ۴).

با روش کریجینگ، تراکم جمعیت شته‌ها در نقاط مختلف مزرعه به‌خوبی تخمین زده می‌شود و می‌توان در شروع مراحل خسارت‌زا، اقدام به پیش‌آگاهی آفت نمود. با توجه به نقشه‌های کرجینگ، گونه آفت مورد نظر در اوایل اردیبهشت ماه از سمت جنوب مزرعه در شهرستان بروجرد ظاهر شد و به‌تدریج کشیدگی آن به‌سمت مناطق مرکزی مزرعه ادامه داشت. این چولگی در ورود آفت به مزرعه می‌تواند به‌دلیل کشت‌های مزارع مجاور و یا جهت باد غالب منطقه‌ای باشد (Ghosh *et al*., 2019). در این ارتباط، مطالعات نشان داده که مدل‌سازی پراکندگی آفات ناشی از باد می‌تواند ابزار ارزشمندی در زمینه مدیریت یکپارچه آفات در سطح منطقه باشد (Koralewskia *et al*., 2021). در صورت رسیدن تراکم جمعیت آفت مورد نظر به آستانه اقتصادی، با سم‌پاشی حدود یک پنجم سطح مزرعه، درصد بالایی از جمعیت آفت را می‌توان کاهش داد و از سم‌پاشی غیر ضروری خودداری نمود. مطابق با نتایج به‌دست آمده از نقشه‌های کریجینگ (شکل ۵) در مزرعه یونجه شهرستان دزفول در سال زراعی مربوطه، با ردیابی مسیر ورود شته‌ها از سمت شرق مزرعه و به‌تدریج کشیدگی آن‌ها به‌سمت مناطق مرکزی و شمال مزرعه، امکان مهار آفت در زمان مناسب و با کمترین هزینه وجود داشت، البته تعمیم این نتایج به سال‌های زراعی بعدی نیاز به مطالعات تکمیلی دارد. ویژگی‌های زمین‌آماری شب پره *Cydia funebrana* (Treitschke) در باغ‌های آلو توسط سیارتا و همکاران (Sciarretta *et al*., 2001)، کرم ساقه‌خوار *Hypothenemus hampei* Ferrari و مینوز *Leucoptera coffeella* Guer در مزرعه قهوه توسط د-آلوز و همکاران (De Alves *et al*., 2011)، کرم سیب *Cydia pomonella* (L) توسط ریبس-داسی و همکاران (Ribes-Dasi *et al*., 2005) به‌منظور مدیریت بهتر و اجرای سیستم کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری

نقشه‌های کریجینگ براساس منحنی‌های سمی‌واریانس به‌عنوان نتایج این پژوهش، به‌خوبی تغییرات الگوی مکانی جمعیت شته سبز نخود فرنگی را در طول فصل زراعی مربوطه نشان می‌دهد. با تهیه الگوهای پراکنش مکانی و تهیه نقشه‌های کریجینگ می‌توان به مهار مؤثر این آفت با تکیه بر کاهش مصرف آفت‌کش‌ها امیدوار بود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (گرنت شماره SCU.AP.1401.437) قدردانی می‌شود.

References

1. Afshari, A., Soleymannejadian, E., & Shishehbor, P. (2008). Spatial distribution of the natural enemies of the cotton aphid, and the comparison of its estimating procedures in cotton fields of Gorgan, Iran. *Journal of Entomological Society of Iran*, *27*(2), 61-78. (In Persian with English abstract). https://civilica.com/doc/1588519
2. Alsuhaibani, A.M. (1996). Entomofauna of alfalfa in Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of King Saud University, Agricultural Sciences*, *8*(2), 269-277.
3. Azad, A. (2010). Application of geostatistic in management of important aphids in wheat fields in Badjgah region (Fars province). M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran.115 pp . (In Persian with English abstract)
4. Canevari, W.M., Davis, R.M., Frate, C.A., Godfrey, L.D., Goodell, P.B., Lanini, W.T., Long, R.F., Natwick, E.T., Orloff, S., Putnam, D.H., Summers, C.G., Vargas, R.N., Westerdahl, B.B., & Wilson, R.G. (2015). *UC IPM pest Management Guidelines, Alfalfa. UC ANR publication 3430. Oakland, CA.* Website: http://www.ipm.ucdavis.edu
5. Castrignano, A., Boccaccio, L., Cohen, Y., Nestel, D., Kounatidis, I., Papadopoulos, N.T., De Benedetto, D., & Mavragani-Tsipidou, P. (2012). Spatio–temporal population dynamics and area-wide delineation of *Bactrocera oleae* monitoring zones using multi-variate geostatistics. *Precision Agriculture*, *13*, 421-441. https://doi.org/10.1007/s11119-012-9259-4
6. De Alves, M.C., Da Silva, F.M., Moraes, J.C., Pozza, E.A., De Oliveira, M.S., Souza, J.C.S., & Alves, L.S. (2011). Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. *Precision Agriculture*, *12*(1), 18-31. http://dx.doi.org/10.1007/s11119-009-9151-z

7. Ellsbury, M.M., Woodeson, W.D., Clay, S.A., Malo, D., Schumacher, J., Clay, D.E., & Carlson, C.G. (1998). Geostatistical characterization of the spatial distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. *Environmental Entomology*, *27*(4), 910-917. https://doi.org/10.1093/ee/27.4.910
8. Ghahremani, M. (2017). Spatio-temporal signature of aphids, coccinellids, carabids and plant bugs in Karkaj alfalfa fields. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. 100 pp. (In Persian with English abstract)
9. Ghosh, S., Roy, A., Chatterjee, A., & Ranjan Sikdar, S. (2019). Efect of regional wind circulation and meteorological factors on longrange migration of mustard aphids over indo-gangetic plain. *Scientific Repots*, *9*, 5626. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42151-81
10. Golawska, S., Krz Yzanowski, R., & Lukasik, I. (2010). Relationship between aphid infestation and chlorophyll content in fabaceae species. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanic*, *52*(2), 76-80. http://dx.doi.org/10.2478/v10182-010-0026-4
11. Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, *27*, 315-334. http://dx.doi.org/10.1007/s003740050439
12. Gressie, N. (1993). Statistics for Spatial Data. Wiley Press, New York, USA 424 pp.
13. Grigorov, S. (1982). Interrelations between cereal aphids and their natural enemies on lucerne. *Rasteniev Dni-Nauki*, *19*(7), 94-105.
14. Habashi, H., Hosseini, M., Mohammadi, J., & Rahmani, R. (2007). Geostatistic applied in forest soil studying process. *Journal of Agricultural Science and natural Resources*, *14*(1), 1-10. (in Persian with English abstract).
15. Hasani Pak, A. (1998). *Geostatistics*. Tehran, Tehran University Press, Tehran, Iran. 314 pp.
16. Hojati, M., Mohiseni, A., Vafaei, R., & Termechi, H. (2011). Application of geostatistics to management of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch in Borujerd common bean fields. *Journal of Entomological Research of Iran*, *3*(4), 295-303. (In Persian with English abstract)
17. Isaaks, E.H., & Srivastava, R.M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York, USA. 561 pp.
18. Journel, A.G., & Huojbregts, J.C.J. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press, London, England. 600 pp.
19. Karimzadeh, R., Hejazi, M.J., Helali, H., Iranipour, S., & Mohammadi, S.A. (2011). Analysis of the spatio-temporal distribution of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae) by using spatial analysis by distance indices and geostatistics. *Environmental Entomology*, *40*, 1253–1265. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.1603/en10188
20. Karimzadeh, R., Zakeri, M., & Iranipur, S. (2015). Determination of spatial distribution *Hypera postica* and *Sitona* spp. (Coleoptera: Curculionidae) using geostatistics. *Applied Entomology and Phytopathology*, *83*, 223-236. https://civilica.com/doc/1517136
21. Koralewskia, T.E., Wanga, H-H., Granta, W.E., Brewerb, M.J. Elliottc, N.C., & Westbrook, J.K. (2021). Modeling the dispersal of wind-borne pests: Sensitivity of infestation forecasts to uncertainty in parameterization of long-distance airborne dispersal. *Agricultural and Forest Meteorology*, *301–302*, 108357. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108357
22. Eastop, V.F. (1971). Keys for the identification of *Acyrthosiphon* (Hemiptera: Aphididae). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology*, *26*, 1-115. https://biostor.org/reference/59546
23. Latifian, M., & Soleymannejadian, E. (2009). Study of the Lesser moth *Batrachedra amydraula* (Lep.: Batrachedridae) distribution based on geostatistical models in Khuzestan province. *Journal of Entomological Research*, *1*(1), 43-55. (In Persian with English abstract)
24. Liebhold, A.M., Rossi, R.E., & Kemp, P. (1993). Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, *38*(1), 303-327. http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001511
25. Madani, H. (1994). *Fundamental of Geostatistics*.Tehran, Amirkabir University Press. Tehran, Iran. 659 pp.
26. McBratney, A.B., Webster, R., & Burgess, T.M. (1981). The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables - I: theory and method. *Computers and Geosciences*, *7*, 331-334.
27. Mittler, T., & Sylvester, E. (1961). A comparison of the injury to alfalfa by the aphids *Therioaphis maculate* and *Macrosiphum pisum*. *Journal of Economic Entomo1ogy*, *54*(4), 615-622. http://doi.org/10.1093/JEE%2F54.4.615
28. Mohiseni, A.A., Soleyman-Nejadian, M.S., Mossadegh, GH.R., Radjabi, A., & Pirhadi, A. (2007). Sequential sampling plan of *Eurygaster integriceps* (Het.: Scutelleridae) in wheat fields of Borujerd region. *Journal of Entomological Society of Iran*, *27*, 43-59. (In Persian with English abstract)
29. Mohiseni, A.A., Pirhadi, A., & Nabati, A. (2007). Geostatistical analyzes of important wheat aphids in dry wheat fields of Borujerd city. *In the 18th Iranian Plant Protection Congress.* Boali Sina University, Hamedan, Iran. 423 p. (In Persian with English abstract)
30. Monajemi, H., & Esmaili M. (1981). Population dynamics of lucerne aphids and their natural controlling factors in karaj. *Journal of Entomological Society of Iran*, *6*, 41-63.(In Persian with English abstract). https://jesi.areeo.ac.ir/article_108234.html
31. Moral Garcia, F.J. (2006). Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato

field using a stochastic approach. *Biosystems Engineering*, *93*, 253-259. http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.12.011
32. Nakashima, Y., & Akashi, M. (2005). Temporal and within-plant distribution of the parasitoid and predator complexes associated with *Acyrthosiphon pisum* and *A. kondoi* (Homoptera: Aphididae) on Alfalfa in Japan. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, *40*(1), 137-144. http://dx.doi.org/10.1303/aez.2005.137
33. Park, Y.L., & Telfson, J.J. (2005). Spatial prediction of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adult emergence in Iowa cornfields. *Journal of Economic Entomology*, *98*: 121- 128. http://doi.org/10.1093/jee/98.1.121
34. Rakhshani, E., Talebi, A.A., Manzari, S., Rezvani, A., & Rakhshani, H. (2006). An investigation on alfalfa aphids and their parasitoids in different parts of Iran, with a key to the parasitoid. *Journal of Entomological Society of Iran*, *25*(2), 1-14. (In Persian with English abstract). https://sid.ir/paper/564752/en
35. Rassoulian, G.R. (1985). Investigation on the biology and population fluctuation of important alfalfa aphids in Karaj, Iran. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran. Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
36. Rassoulian, G.R. (1989). Effect of two aphid species *Acyrthosiphon pisum* and *Therioaphis trifolii* on protein and yield losses of alfalfa in Karaj, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Science*, *20*(1,2), 21-26. (In Persian with English abstract)
37. Reay-Jones, F.P.F. (2012). Spatial analysis of the cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in wheat. *Environmental Entomology*, *41*, 1516-1526. http://doi.org/10.1603/EN12103
38. Reay-Jones, F.P. (2017). Geostatistical characterization of cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) distributions in wheat. *Environmental Entomology*, *46*, 931-938. http://dx.doi.org/10.1093/ee/nvx122
39. Rendu, J.M. (1981). *An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation*. Institute of Mining and Metallurgy Press. Johannesburg, South African. 84 pp.
40. Ribes-Dasi, M., Almacellas, J., Sió. J., Torà. R., Planas. S., & Avilla, J. (2005). The use of geostatistics and GIS to optimize pest control practices in precision farming systems. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production. p. 583-590
41. Rijal, J.P., Brewster, C.C., & Bergh, J.C. (2014). Spatial distribution of grape root borer (Lepidoptera: Sesiidae) infestations in Virginia vineyards and implications for sampling. *Environmental Entomology*, *43*(3), 716-728. http://dx.doi.org/10.1603/EN13285
42. Robertson, G. (1998). GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell. 176 pp.
43. Sciarretta, A., Trematerra, P., & Baumgärtner, J. (2001). Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist, 47*(3), 174-184. http://dx.doi.org/10.1093/ae/47.3.174
44. Shayestehmehr, H. (2014). Spatio-temporal distribution of *Therioaphis maculata* Buckten, *Aphis craccivora* Koch and coccinellid lady beetles in alfalfa fields of karkaj. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. 78 pp. (In Persian with English abstract)
45. Southwood, T.R.L. (1975). *Ecological Method*. Chapman and Hall Press, New York, USA. 429 pp.
46. SPSS Inc. (2018). SPSS 26.0 for windows. Prentice Hall, SPSS Inc, NewJork, USA.
47. Summers, C.G. (1976). Population fluctuations of selected arthropods in alfalfa: Influence of two harvesting practices. *Environmental Entomology*, *5*, 103-110. https://doi.org/10.1093/ee/5.1.103
48. Takahashi, K., & Naito, A. (1984). Seasonal occurrence of aphids and their predators (Col.: Coccinellidae) in alfalfa fields. *Bull. National Grassland Research Institute of Japan*, *29*, 62-66.
49. Taylor, D.B., Friesen, K., & Jerry Zhu, J. (2013). Spatial-temporal dynamics of stable fly (Diptera: Muscidae) trap catches in eastern Nebraska. *Environmental Entomology*, *42*(3), 524-531. http://dx.doi.org/10.1603/EN12258
50. Tomanovic, Z., Brajkovic, M., Krunic, M., & Stanisavljevic, L.J. (1996). Seasonal dynamics, parasitization and colour polymorphism of the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Harris) (Aphididae: Homoptera) on alfalfa in the south part of the Pannonian area. *Tiscia*, *30*, 45-48.
51. Williams, L., Schotzko, D.J., & McCaffrey, J.P. (1992). Geostatistical description of the spatial distribution of *Limonous californicus* (Coleoptera: Elateridae) wireworms in the northwestern United States, with comments on sampling. *Environmental Entomology*, *21*, 983-995. https://doi.org/10.1093/ee/21.5.983